Bestimmung der Sonnenbewegung und der galaktischen Rotation, hergeleitet aus den Eigenbewegungen des FK3

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Von

Wilhelm Gliese

aus

Goldberg/Schlesien

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Jan. 1940

Tag der Promotion: 28. Juni 1940.

BERLIN-DAHLEM 1940
VERLAG DER ASTRONOMISCHEN NACHRICHTEN

N 23

Referenten: Prof. Dr. A. Kopff

Prof. Dr. P. Guthnick

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Bestimmung der Sonnenbewegung und der galaktischen Rotation, hergeleitet aus den Eigenbewegungen des FK3*)

Von W. Gliese, Berlin-Dahlem

Eingegangen 1940 Januar 30

Aus den Eigenbewegungen des FK3 werden die Sonnenbewegung und die Konstanten der galaktischen Rotation hergeleitet. Die Gleichungen werden in galaktischen Koordinaten für je eine mittlere Eigenbewegung in Arealmitte angesetzt. Dabei sind an die Koeffizienten der Unbekannten gewisse Korrektionen anzubringen, die hier angegeben werden.

Die Korrektionen der Präzessionskonstanten fügen sich den Werten älterer Bestimmungen ein, zeigen aber beträchtliche Unsicherheit.

Die Sonnenbewegung in verschiedenen galaktischen Breitenzonen zeigt kein systematisches Verhalten außer dem Anwachsen der mittleren Säkularparallaxe mit zunehmender Breite. Aus den allgemeinen Lösungen ergibt sich als Apex bei Beschränkung auf die EB$<$20″: $\alpha_a = 266{}^\circ\!.5$, $\delta_a = +29{}^\circ\!.4$ und für EB$<$10″: $\alpha_a = 260{}^\circ\!.0$, $\delta_a = +27{}^\circ\!.5$. Die Deklination paßt sich also den aus Radialgeschwindigkeiten hergeleiteten Werten an; die gegen ältere Bestimmungen geringere Rektaszension beruht auf dem starken Anteil scheinbar heller und daher naher Sterne; bereits der Ausschluß aller Sterne näher als 25 parsec verschiebt die AR des Apex auf etwa 270°. Ferner wird die Sonnenbewegung relativ zu den Spektralgruppen B, A, (F + G) und K untersucht, wobei sich für die einzelnen Gruppen charakteristische Differenzen zeigen.

Für die nur in den sichersten Lösungen mitbestimmten Konstanten der galaktischen Rotation erhält man $Q = -0''\!.26$, $P = +0''\!.27 \pm 0''\!.12$ und $l_0 = 317^\circ \pm 12^\circ$ in guter Übereinstimmung mit älteren Werten. Die Frage, ob die EB in Breite eine Dilatation anzeigen, bleibt auf Grund dieses Materials offen.

1. Einleitung

In der folgenden Arbeit werden aus den 1535 Eigenbewegungen des »Dritten Fundamentalkatalogs des Berliner Astronomischen Jahrbuchs« (FK3) die Sonnenbewegung und die Konstanten der galaktischen Rotation bestimmt.

Nach einigen Bemerkungen über das Beobachtungsmaterial wird die gewählte Arealeinteilung des Himmels diskutiert. Die Gleichungen werden in galaktischen Koordinaten angesetzt, und zwar jeweils für einen mittleren Stern in Arealmitte. Dieser Gleichungsansatz für die Arealmitten fordert gewisse Korrektionen für die Koeffizienten der Unbekannten, die in Abschnitt 4 — über die bisherige Praxis hinausgehend — nicht nur für die Sonnenbewegung sondern für alle auftretenden Unbekannten entwickelt werden.

Neben der Sonnenbewegung und der galaktischen Rotation gehen auch eventuelle Korrektionen der benutzten Präzessionskonstanten in die Gleichungen der Eigenbewegungen ein. Da nun das zur Verfügung stehende Beobachtungsmaterial nicht zahlreich genug ist und verhältnismäßig viel große Eigenbewegungen enthält, so wird versucht, die Unbekannten der Präzessionskonstanten nur aus den Breitenkomponenten der EB des Äquatorgürtels zu bestimmen. Denn dazu ist die Kenntnis der 6 Unbekannten der Sonnenbewegung und galaktischen Rotation nicht erforderlich. Die so erhaltenen Werte stimmen mit denen früherer Untersuchungen innerhalb der Fehlergrenzen überein. Im weiteren Verlauf konnten dann die Präzessionskorrektionen als bekannt vorausgesetzt werden.

Auch die drei Konstanten der galaktischen Rotation werden bei der Herleitung der Sonnenbewegung in allen Fällen, in denen ihre Bestimmung zu unsicher wird, aus älteren Arbeiten als bekannt entnommen.

Ehe nun für die Sonnenbewegung allgemeine Lösungen aus allen Arealen angesetzt werden können, muß eine nach Breitenzonen getrennt angesetzte Lösung zeigen, inwieweit die mittlere Säkularparallaxe mit zunehmender Breite wächst. Eine solche Abhängigkeit war nur bei den EB$<$70″ erkennbar.

In den allgemeinen Lösungen werden die Sterne sowohl nach der Größe ihrer EB als auch nach ihrer Entfernung (Parallaxe) unterteilt. Eine kurze Untersuchung zeigt, daß der Einfluß der Sternströme im FK3 praktisch verschwindend ist. Die Deklination des Apex paßt sich — im Gegensatz zu den Ableitungen aus dem »Preliminary General Catalogue« (PGC) und dem »General Catalogue« (GC) — gut den Werten aus Radialgeschwindigkeiten an. Daß die AR geringer bleibt als in älteren Bestim-

*) D II.

mungen, liegt an der relativ hohen Beimischung von nahen (scheinbar hellsten) Sternen, wie die »Parallaxenlösungen« zeigen. Die hier mitbestimmten Konstanten der galaktischen Rotation werden erst später gesondert diskutiert.

Eine Anordnung der Sterne nach Spektralgruppen beschränkt sich auf die Bestimmung der Sonnenbewegung relativ zu den Sternen der Spektralgruppen B, A, (F + G) und K. Die Kenntnis der weitaus meisten Parallaxen läßt die relative Sonnengeschwindigkeit in km/sec mit weitgehender Näherung berechnen. Dabei werden gewisse angrenzende Fragen wie Streuung der absoluten Helligkeiten innerhalb der betrachteten Spektralgruppe und Verbesserung der den spektroskopischen Parallaxen zugrunde liegenden absoluten Helligkeiten erörtert.

Daran schließt sich die Betrachtung der galaktischen Rotationsglieder an, für die sich recht befriedigende Werte ergeben. Eine im letzten Abschnitt vorgenommene Diskussion der Frage, ob die Breitenkomponenten der EB eine Dilatation der betrachteten Sterngruppe anzeigen, gibt eigentlich nur die Richtung, in der spätere Untersuchungen dieser Frage sich bewegen können. Denn auf Grund dieses Materials kann noch keine Antwort gegeben werden.

Eine Zusammenfassung aller Ergebnisse ist zum Schluß angefügt.

2. Beobachtungsdaten

Für die folgenden Untersuchungen wurden die Eigenbewegungen des »Dritten Fundamentalkatalogs des Berliner Astronomischen Jahrbuchs« (FK3) zugrunde gelegt. Diese 1535 Sterne bestehen aus 873 alten »Auwerssternen« und 662 Zusatzsternen, unter ihnen allen 52 Polsterne. Das sind gegenüber den 6188 Sternen des PGC (Boss-Sterne) und den 33342 des GC verhältnismäßig wenige; doch haben die EB des FK3 eine wesentlich größere innere Genauigkeit, die es gestattet, jeden Stern mit gleichem Gewicht anzusetzen (nur etwa 12 der Zusatzsterne haben einen mittleren Fehler ihrer hundertjährigen EB zwischen 1″.00 und 1″.40). Außerdem übertrifft die Streuung infolge der Pekuliarbewegungen die Fehler der EB um ein Mehrfaches. Aus dem gleichen Grunde wurde davon abgesehen, den Gleichungen nördlich und südlich des Äquators verschiedenes Gewicht zu erteilen, obwohl die EB der Südsterne im allgemeinen etwas unsicherer sind.

Hervorzuheben ist die durch die Zusatzsterne herbeigeführte gleichmäßige Sternverteilung über den ganzen Himmel, die es bei den meisten Lösungen gestattet, allen Arealen gleiches Gewicht zu geben und die Gleichungen für die Arealmitten anzusetzen. Eine Abweichung von dieser Gleichmäßigkeit tritt nur in den Polregionen auf, wo durch die Polsterne die Sternzahl in den betreffenden Arealen erhöht wird. Da jedoch die Fehler der EB dort etwas über dem Durchschnitt liegen, habe ich auch hier von der Zuteilung erhöhter Gewichte abgesehen.

Die Koordinaten sowie die EB beziehen sich auf 1950.0; die EB sind für 100 Jahre angegeben — alle in dieser Arbeit gemachten Angaben (Säkularparallaxe, Präzessionskonstantenkorrektionen, Oortsche Konstanten) beziehen sich ebenfalls auf einen Zeitraum von 100 Jahren.

Unter den 1535 Sternen befinden sich nur zwei Sternpaare, deren EB für beide Komponenten angegeben ist, nämlich ν^1, ν^2 Draconis und α^1, α^2 Librae. In beiden Fällen wurden die mittleren EB entsprechend den Gleichungen eines einzelnen Sternes angesetzt.

Eine weitere Frage bildet die Behandlung der Sternströme. Ihr Einfluß bleibt im vorliegenden Fall jedoch sehr gering, wie im Verlauf der Arbeit noch erörtert wird. Es zeigt sich sogar, daß ihr völliges Weglassen deutliche systematische Abweichungen in den Präzessionskorrektionen und der Oortschen Konstanten B hervorruft. Läßt man nämlich alle Sterne eines Stromes weg, so schaltet man in dem betreffenden Areal die EB einer bestimmten Richtung aus, und die Pekuliarbewegungen in der Gegenrichtung werden nicht mehr kompensiert. Da andererseits die Zahl der Stromsterne im FK3 gering bleibt und da sie in keinem Areal auffällige systematische Verfälschungen der mittleren Bewegungskomponenten verursacht, so erübrigt sich auch ein Zuteilen von Gewichten für die einzelnen Ströme.

3. Arealeinteilung

Die mit der Untersuchung der Sonnenbewegung verbundene Herleitung der Oortschen Konstanten der galaktischen Rotation legt es nahe, die Lösungen in galaktischen Koordinaten anzusetzen. Da die Galaxis die Symmetrieebene unseres Sternsystems bildet, ist auch die Sonnenbewegung gegen Sterne verschiedener galaktischer Breitenzonen zu untersuchen. Ich legte den galaktischen Pol der Ohlsonschen Tafeln[1]) für 1950.0: $\alpha = 12^h42^m4$; $\delta = +27°.7$ zugrunde. Mit Hilfe dieser Tafeln wurden

[1]) J. Ohlson: Lund Observatory Tables for the conversion of equatorial coordinates into galactic coordinates. Ann. Obs. Lund Nr. 3 (1932).

die Sterne in die betreffenden Areale eingeordnet; desgleichen wurde daraus der galaktisch-parallaktische Winkel entnommen, der zur Umrechnung der äquatorialen EB-Komponenten in galaktische gebraucht wird.

Die verhältnismäßig geringe Anzahl von Sternen läßt — zur Ausschaltung der Pekuliarbewegungen — große Areale wünschenswert erscheinen. Da nun die Sterne des FK3 sehr gleichmäßig verteilt sind, konnte man bis zu 900 Quadratgrad gehen und mit den Arealmitten rechnen, sofern man nur an die Koeffizienten der Unbekannten bestimmte Korrektionen anbringt, die W. M. Smart[1]) für die Koeffizienten der Sonnenbewegung entwickelt hat.

Ich ordnete die Areale in 5 Breitenzonen an:

I. Eine Äquatorzone mit 12 Arealen zwischen $-15°$ und $+15°$ Breite
IIn; IIs. Zwei Zonen mit je 10 Arealen zwischen $\pm 15°$ und $\pm 45°$ Breite
IIIn; IIIs. Zwei Zonen mit je 6 Arealen zwischen $\pm 45°$ und $\pm 75°$ Breite

Die beiden kleinen Polkappen über $\pm 75°$ wurden ausgeschlossen, da sie eine befriedigend gleichmäßige Einteilung stören und dort die Koeffizientenkorrektionen zu groß werden. Dadurch werden jedoch nur 47 Sterne weggelassen. — In den Zonen I und III sind die Areale gleich 890 Quadratgrad, in den Zonen II gleich 925 Quadratgrad — ein Unterschied von noch nicht 4 %. Da trotz dieses Größenunterschiedes die durchschnittlichen Sternzahlen gleich bleiben, wurden keine Korrektionsfaktoren angebracht. Es kommen gewöhnlich auf ein Areal etwas über 30 Sterne.

Bei dieser Einteilung nehmen — sofern man mit Arealmitten und gleichen Gewichten rechnen kann — die Normalgleichungen die denkbar einfachste Gestalt an: Fast alle gemischten Produktsummen sind Null — die einzelnen Größen ergeben sich also unabhängig voneinander (nur die Oortsche Konstante $Q = B/4.74$ läßt sich von den Präzessionskorrektionen nicht trennen).

4. Gleichungen zur Herleitung der Sonnenbewegung, der galaktischen Rotation und der Präzessionskorrektionen

Die Gleichungen in galaktischen Koordinaten, enthaltend die Sonnenbewegung, die galaktische Rotation und die Präzessionskorrektionen, lauten (in der Annahme, daß die Pekuliarbewegungen sich beim Mitteln über alle Sterne des Areals herausheben)[2])

$$\overline{\mu_l \cos b} = +X \sin l - Y \cos l + Q \cos b + C \cos 2l \cos b + S \sin 2l \cos b + \Delta p \,[\cos\epsilon_1 \cos b + \sin\epsilon_1 \sin b \sin(l - l_1)] + (-\Delta e - \Delta l)\,[\cos\epsilon_2 \cos b + \sin\epsilon_2 \sin b \sin(l - l_2)]$$

$$\overline{\mu_b} = +X \cos l \sin b + Y \sin l \sin b - Z \cos b - C \tfrac{1}{2} \sin 2l \sin 2b + S \tfrac{1}{2} \cos 2l \sin 2b + \Delta p \sin\epsilon_1 \cos(l - l_1) + (-\Delta e - \Delta l) \sin\epsilon_2 \cos(l - l_2)\,.$$

Die 8 hier auftretenden Unbekannten sind

$$X = \left(\frac{\bar{h}}{r}\right) \cos l_a \cos b_a \qquad Q = B/4.74$$

$$Y = \left(\frac{\bar{h}}{r}\right) \sin l_a \cos b_a \qquad C = P \cos 2$$

$$Z = \left(\frac{\bar{h}}{r}\right) \sin b_a \qquad S = P \sin 2l_0, \quad \text{wobei} \quad P = A/4.74$$

Δp, $-\Delta e - \Delta l$ als Präzessionskorrektionen.

Es bedeuten:
- $(\overline{h/r})$ die mittlere Säkularparallaxe
- l_a, b_a die galaktische Länge und Breite des Apex
- l, b die Koordinaten des Zentrums der betreffenden Sterngruppe (Arealmitte)
- B, A die Oortschen Konstanten der differentiellen galaktischen Rotation
- l_0 das Zentrum dieser Rotation
- ϵ_1 die Neigung der Ekliptik gegen die galaktische Ebene
- l_1 die galaktische Länge des aufsteigenden Knotens der Ekliptik auf der galaktischen Ebene
- ϵ_2, l_2 die entsprechenden Werte für den Äquator gegen die galaktische Ebene.

[1]) On the determination of the solar motion. Monthly Not. **96**.461 (1936).
[2]) P. van de Kamp, A. N. Vyssotsky: A study of the proper motions of 18000 stars derived at the Leander McCormick Observatory. Astron. J. **45**.167 (1937).

Mit dem Pol der Ohlsonschen Tafeln für 1950.0 ist

$$\epsilon_1 = 60^\circ.6 \qquad \epsilon_2 = 62^\circ.3$$
$$l_1 = 153.3 \qquad l_2 = 180.0$$

Bei der Bildung der Mittelwerte $\overline{\mu_l \cos b}$, $\overline{\mu_b}$ denkt man sich jeden Stern mit gleichbleibenden EB-Komponenten nach dem Arealzentrum verschoben. Dabei treten systematische Abweichungen auf, die im Fall einer homogenen Sternverteilung im Areal berechnet werden können. Die Berechnungen für die Glieder der Sonnenbewegung hat W. M. Smart[1]) durchgeführt. Er findet, daß bereits bei Arealen von 400 bis 500 Quadratgrad ein Fehler von etwa $\frac{1}{2}$ km/sec in der Sonnengeschwindigkeit auftritt und gleichzeitig eine Verschiebung des Apex um etwa 1°; das sind Beträge, die wegen ihrer systematischen Natur keinesfalls vernachlässigt werden dürfen.

In der praktischen Anwendung schlägt W. M. Smart[2]) folgenden Weg ein: Er löst erst das Gleichungssystem ohne solche Korrektionsglieder und erhält also eine genäherte Sonnengeschwindigkeit und Apexlage. Aus diesen Näherungswerten ermittelt er mit hinreichender Genauigkeit die Korrektionsgrößen, die er additiv an die Mittelwerte der Sternbewegung in jeder Arealgleichung anbringt. Dann löst er das so verbesserte System erneut auf.

In dieser Arbeit wurden hingegen die entsprechenden Korrektionen bereits an die Koeffizienten aller gesuchten Größen in den Beobachtungsgleichungen angebracht. Damit erübrigt sich eine erste Näherungslösung. Auch braucht man — solange man die gewählte Areaeinteilung beibehält — diese Koeffizienten nur einmal zu berechnen und kann sie dann für jede beliebige Unterteilung der betrachteten Sterne übernehmen, sofern nur die Voraussetzung einer ziemlich gleichmäßigen Sternverteilung in den Arealen noch gültig ist.

Bei der hier gewählten Himmelseinteilung mit Arealgrößen von etwa 900 Quadratgrad steigen in der Zone III die Fehler der einzelnen unkorrigierten Koeffizienten bis zu 8% und bei den Gliedern der galaktischen Doppelwelle sogar auf 18%. Ohne solche Arealkorrektionen ergibt sich daher die mittlere Säkularparallaxe um 3% zu gering, der Apex weicht in Länge um 0°.0 und in Breite um +1°.0 ab. Die Änderung von Q ist minimal: +0".003, während die Amplitude P der besonders stark beeinflußten Doppelwelle sich um 10% zu gering ergibt. Hingegen ist die Verschiebung des Zentrums der galaktischen Rotation um −0°.3 praktisch gleich null. Da diese Abweichungen systematisch sind, so können sie also bei geringem mittleren Fehler diesen beträchtlich übersteigen.

Infolge der Begrenzung der Areale durch Rektaszensions- und Deklinationskreise bzw. Längen- und Breitenkreise gestaltet sich die Berechnung der Korrektionen verhältnismäßig einfach. Entwickelt man sie nach Potenzen der Längen- und Breitenausdehnung der Areale, so sind sie von der zweiten und höheren Ordnung. Ihre Herleitung gestaltet sich folgendermaßen:

Ein Areal werde begrenzt von 2 Längenkreisen $l_1 = l_m - \Phi$, $l_2 = l_m + \Phi$ und von 2 Breitenkreisen $b_1 = b_m - \Theta$, $b_2 = b_m + \Theta$. Dann ist sein Mittelpunkt gegeben durch l_m, b_m [das ist nicht der Schwerpunkt l_m, b'_m; b'_m gegeben durch $\sin b'_m = \frac{1}{2}(\sin b_1 + \sin b_2)$]. Die Ausdehnung beträgt also in Länge 2Φ, in Breite 2Θ. Bei gleichmäßiger Sternverteilung ist die Sternzahl der Fläche proportional, in einem Flächenelement also gleich $n \cos b \, \mathrm{d}b \, \mathrm{d}l$ und im ganzen Areal gleich $n\Delta = n \, 4\Phi \sin\Theta \cos b_m$.

Die Formeln, aus denen sich die genauen Koeffizienten der Unbekannten ergeben, lauten:

$$\overline{\mu_l \cos b} = \frac{1}{n\Delta} \sum \mu_l \cos b = \frac{1}{\Delta} \int_{l_1}^{l_2} \int_{b_1}^{b_2} \mu_l \cos^2 b \, \mathrm{d}b \, \mathrm{d}l$$

$$\overline{\mu_b} = \frac{1}{n\Delta} \sum \mu_b = \frac{1}{\Delta} \int_{l_1}^{l_2} \int_{b_1}^{b_2} \mu_b \cos b \, \mathrm{d}b \, \mathrm{d}l .$$

Die Abweichungen von den Koeffizienten für Arealmitte ($\mu_{lm} \cos b_m$, μ_{bm}) sind von der 2. Ordnung in Φ und Θ. Entwickelt man die Gleichungen nach Φ und Θ, bis zur 4. Ordnung, so lauten sie:

[1]) loc. cit., Fußnote 1, S. 129.
[2]) The solar motion and galactic rotation from radial velocities. Monthly Not. **96**.471 (1936).

$$\overline{\mu_l \cos b} = +X \sin l_m \left(1 - \frac{\Phi^2}{6} + \frac{\Phi^4}{120}\right) - Y \cos l_m \left(1 - \frac{\Phi^2}{6} + \frac{\Phi^4}{120}\right) + Q \cos b_m \left(1 - \frac{\Theta^2}{2} + \frac{\Theta^4}{24}\right) + \frac{Q}{\cos b_m}\left(\frac{\Theta^2}{3} - \frac{\Theta^4}{90}\right) +$$

$$+ (C \cos 2l_m + S \sin 2l_m) \left[\cos b_m \left(1 - \frac{\Theta^2}{2} - \frac{2}{3}\Phi^2 + \frac{\Theta^4}{24} + \frac{\Phi^2\Theta^2}{3} + \frac{2\Phi^4}{15}\right) + \frac{1}{\cos b_m}\left(\frac{\Theta^2}{3} - \frac{\Theta^4}{90} - \frac{2}{9}\Phi^2\Theta^2\right)\right] +$$

$$+ [\Delta p \cos \epsilon_1 + (-\Delta e - \Delta l) \cos \epsilon_2] \left[\cos b_m \left(1 - \frac{\Theta^2}{2} + \frac{\Theta^4}{24}\right) + \frac{1}{\cos b_m}\left(\frac{\Theta^2}{3} - \frac{\Theta^4}{90}\right)\right] +$$

$$+ [\Delta p \sin \epsilon_1 \sin(l_m - l_1) + (-\Delta e - \Delta l) \sin \epsilon_2 \sin(l_m - l_2)] \sin b_m \left(1 - \frac{\Theta^2}{2} - \frac{\Phi^2}{6} + \frac{\Theta^4}{24} + \frac{\Phi^2\Theta^2}{12} + \frac{\Phi^4}{120}\right).$$

$$\overline{\mu_b} = (X \cos l_m \sin b_m + Y \sin l_m \sin b_m) \left(1 - \frac{\Theta^2}{2} - \frac{\Phi^2}{6} + \frac{\Theta^4}{24} + \frac{\Phi^2\Theta^2}{12} + \frac{\Phi^4}{120}\right) +$$

$$- Z \left[\cos b_m \left(1 - \frac{\Theta^2}{2} + \frac{\Theta^4}{24}\right) + \frac{1}{\cos b_m}\left(\frac{\Theta^2}{3} - \frac{\Theta^4}{90}\right)\right] +$$

$$+ \left(-C \frac{1}{2} \sin 2l_m + S \frac{1}{2} \cos 2l_m\right) \sin 2b_m \left(1 - \frac{4}{3}\Theta^2 - \frac{2}{3}\Phi^2 + \frac{4}{9}\Theta^4 + \frac{8}{9}\Phi^2\Theta^2 + \frac{2}{15}\Phi^4\right) +$$

$$+ \left(C \sin 2l_m - S \cos 2l_m\right) \operatorname{tg} b_m \left(-\frac{\Theta^2}{3} + \frac{\Theta^4}{9} + \frac{2}{9}\Phi^2\Theta^2\right) +$$

$$+ [\Delta p \sin \epsilon_1 \cos(l_m - l_1) + (-\Delta e - \Delta l) \sin \epsilon_2 \cos(l_m - l_2)] \left(1 - \frac{\Phi^2}{6} + \frac{\Phi^4}{120}\right).$$

Nach Auflösung der Normalgleichungen wurden die Fehler der einzelnen Größen aus den übrigbleibenden Restwerten der Gleichungen berechnet. In Anpassung an die Mehrzahl der bisherigen Untersuchungen dieser Art gebe ich im folgenden stets den »wahrscheinlichen Fehler« an.

5. Korrektionen der Präzessionskonstanten

Bei der geringen Zahl von Sternen im FK3 tritt die Streuung der Mittelwerte $\overline{\mu_l \cos b}$, $\overline{\mu_b}$ noch deutlich in Erscheinung. Daher ist es angebracht, nicht alle 8 Unbekannten zugleich aus einer allgemeinen Lösung zu bestimmen. Die Präzessionskorrektionen gehen in solche mit besonders kleinem Gewicht ein, werden sich also besonders ungenau ergeben. Da sich andererseits die Streuung unter den Werten $\overline{\mu_b}$ der galaktischen Äquatorzone als verhältnismäßig gering erweist, so habe ich die Bestimmung dieser Korrektionen einem Ansatz von J. H. Oort[1]) folgend nur aus diesen Gleichungen versucht. In diesem Falle fallen die Glieder der galaktischen Rotation weg, und die Gleichungen nehmen — abgesehen von den geringen Arealkorrektionen — die Form an:

$$\overline{\mu_b} = -Z + \Delta p \sin 60^\circ.6 \cos(l_m - 153^\circ.3) + (-\Delta e - \Delta l) \sin 62^\circ.3 \cos(l_m - 180^\circ).$$

Durch Mitteln aller Areale erhalte ich Z und habe damit Gleichungen, die nur noch die Präzessionsglieder enthalten.

Erst nach Weglassen aller EB über 10″ (das sind 22 %) ist das Material homogen genug, um einen von Pekuliarbewegungen nicht überdeckten Effekt zu liefern. Ferner muß man sich auf einen Gürtel zwischen $+20^\circ$ und -20° Breite beschränken. Alle höheren Breiten liefern ungenauere Resultate, kleinere Werte für beide Korrektionen bei beträchtlich größeren Fehlern. Das Ergebnis ist

$$\Delta p = +0''.98 \pm 0''.26$$
$$-\Delta e - \Delta l = -1.02 \pm 0.26$$

Die gute Übereinstimmung mit den Werten der Tab. 1 darf nicht über die durch den erheblichen Fehler angezeigte Unsicherheit hinwegtäuschen. Die auffallend starke Streuung der Werte $\overline{\mu_b}$ des Südhimmels ließ mich zwei getrennte Lösungen ansetzen:

$l = 0^\circ$ bis 180°:	$\Delta p = +1''.38 \pm 0''.16$	$-\Delta e - \Delta l = -1''.50 \pm 0''.16$
180° bis 360°:	$+0.59 \pm 0.38$	-0.54 ± 0.38

[1]) Investigations concerning the rotational motion of the galactic system, together with new determinations of secularparallaxes, precession and motion of the equinox. Bull. Astron. Inst. Netherlands **4**.79 (1927).

Die Differenz übersteigt die Fehler. Oort erhält aus 771 fernen Sternen des Boss-Systems ähnliche Differenzen[1]):

$l = 0°$ bis $180°$: $\Delta p = +1''.7$ $\quad -\Delta e - \Delta l = -1''.2$

$180°$ bis $360°$: $\quad +0.8$ $\quad\quad -1.0$

Diese Werte zeigen, daß die Präzessionskorrektionen über die Fehlergröße hinaus ungenau sind So finden Wilson und Raymond (Tab. 1) aus den 32000 GC-Sternen zwei verschiedene Wertepaare, wenn sie die Lösungen einmal in äquatorialen, dann in galaktischen EB-Komponenten ansetzen, ebenfalls eine noch unerklärliche Abweichung dieser sehr empfindlichen Größen.

Der große Fehler der Südsternlösung, der zu einem Teil in den unsicherer bestimmten EB des Südhimmels begründet liegt, ließ mich beide Lösungen mit verschiedenem Gewicht kombinieren:

$$\Delta p = +1''.23 \pm 0''.20 \qquad -\Delta e - \Delta l = -1''.31 \pm 0''.20$$

In Tab. 1 sind die wichtigsten Bestimmungen der letzten Jahre zusammengestellt, denen sich obige Werte innerhalb der Fehlergrenzen einfügen.

Tabelle 1

Korrektionen der Newcombschen Präzessionskonstanten

Quelle	Material	Δp	$-\Delta e - \Delta l$
Fotheringham, Monthly Not. **86**.419 (1926)	PGC-Sterne	$+0''.93 \pm 0''.20$	$-1''.14 \pm 0''.20$
Oort, Bull. Astron. Inst. Netherlands **4**.85 (1927)	5413 PGC-Sterne	$+1.00 \pm 0.13$	-1.20 ± 0.13
	771 ferne Sterne	$+1.30 \pm 0.20$	-1.10 ± 0.20
	kombiniert	$+1.13 \pm 0.13$	-1.17 ± 0.13
Plaskett und Pearce, Monthly Not. **94**.704 (1934)	717 B-Sterne	$+0.96 \pm 0.12$	-0.96 ± 0.12
van de Kamp und Vyssotsky, Astron. J. **45**.171 (1936)	18000 schwache Sterne	$+1.01 \pm 0.10$	-1.07 ± 0.10
	nur aus EB in Breite [Sterne	$+0.98 \pm 0.12$	-1.03 ± 0.11
	»Allegheny-Johannisburg reference«	$+1.34 \pm 0.20$	-1.07 ± 0.20
Oort, Bull. Astron. Inst. Netherlands **8**.154 (1937)	schwache Sterne [mung	$+1.19 \pm 0.13$	-1.21 ± 0.13
Oort, Bull. Astron. Inst. Netherlands **8**.155 (1937)	kombiniert mit unabhängiger Bestim-	$+0.89 \pm 0.10$	-0.88 ± 0.10
Wilson und Raymond, Astron. J. **47**.57 (1938)	32000 GC-Sterne, äquatoriale Koordi-	$+1.08 \pm 0.06_2$	$-1.23 \pm 0.06_3$
	galaktische Koordinaten [naten	$+0.80 \pm 0.06_2$	$-0.98 \pm 0.06_3$
	gemittelt	$+0.94 \pm 0.04_4$	$-1.10 \pm 0.04_5$
Gliese, diese Arbeit (1940)	402 FK3-Sterne; EB in Breite	$+1.23 \pm 0.20$	-1.31 ± 0.20

Das Ergebnis ist nur als eine Bestätigung der älteren Werte zu betrachten, die alle aus einer mehrfach so großen Zahl von Sternen oder aus einheitlicheren Sterngruppen geringer EB hergeleitet sind und damit größere Genauigkeit haben. Im weiteren Verlauf der Arbeit ist daher mit den Werten gerechnet worden, die sich durch Mitteln aus obiger Tab. 1 unter Berücksichtigung der Fehler (d. h. der Genauigkeit) ergeben: $\Delta p = +0''.98 \pm 0''.030$ $\quad -\Delta e - \Delta l = -1''.08 \pm 0''.027$

6. Sonnenbewegung — allgemeine Lösungen

Unter den dann noch verbleibenden sechs Unbekannten X, Y, Z; Q, C und S sind die drei Konstanten der galaktischen Rotation erheblich kleiner als die Komponenten der Sonnenbewegung. Ihre Berechnung läßt sich daher nur bei geringer Streuung der Mittelwerte $\overline{\mu_l \cos b}$ und $\overline{\mu_b}$ rechtfertigen, also nur bei genügender Zahl der jeweils zusammengefaßten Sterne. Anderenfalls beschränkt man sich auf Bestimmung der Sonnenbewegung und übernimmt für die galaktische Rotation bereits bekannte Werte. Das mußte auch mehrfach in dieser Arbeit geschehen, wobei

$$Q = -0''.28 \qquad P = +0''.33 \quad \text{also} \quad C = +0''.11$$
$$l_0 = 325° \qquad\qquad S = -0.31$$

eingesetzt wurde. Besonders P und l_0, die man aus Radialgeschwindigkeiten erheblich sicherer erhält, werden häufig in Untersuchungen von EB als bekannt übernommen; obige Werte stammen von J. S. Plaskett und J. A. Pearce[2]) und gelten zur Zeit als die genauesten. Der Wert von Q, der nur aus Eigenbewegungen bestimmt werden kann, ist gemittelt aus Plaskett und Pearce[2]) $Q = -0''.25$ und J. H. Oort[3]) $Q = -0''.31$.

Da im FK3 auch Sterne mit sehr großer EB enthalten sind (bis zu $705''$), muß man notwendigerweise alle EB über einer bestimmten Grenze von den Betrachtungen ausschließen, um das Material homogen zu gestalten. Diese Grenze ist stets eine weitgehend willkürliche und wird je nach den leitenden Gesichtspunkten auch verschieden sein.

[1]) loc. cit. S. 85, siehe Fußnote 1, S. 131.

[2]) The motions of the O and B type stars and the scale of the galaxy. Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria **5**.299 (1936).

[3]) A redetermination of the constant of precession, the motion of the equinox and the rotation of the galaxy from faint stars observed at the McCormick Obs. Bull. Astron. Inst. Netherlands **8**.153-154 (1937).

Eine erste Überprüfung des Gesamtmaterials zeigt, daß unter den EB>70″ die Streuung zu beträchtlich ist, als daß sich ihre Mitnahme rechtfertigen lassen würde. So wurde eine Lösung für die EB<70″ angesetzt, zwei weitere für die EB<20″ und die EB<10″. Da in den beiden letzteren natürlich eine geringere Streuung der Restwerte auftritt, ist aus ihnen eine wesentlich genauere Bestimmung der galaktischen Rotationskonstanten zu erwarten, besonders weil diese im Gegensatz zu den Gliedern der Sonnenbewegung von der Entfernung der Sterne (d. h. von der Größe der EB) unabhängig sind. Die Lösung der EB<70″ umfaßt 97 % aller Sterne, die EB<20″ umfassen 86 % und die EB<10″ 70 %.

Ehe nun eine allgemeine Lösung angesetzt werden kann, muß die Abhängigkeit der mittleren Säkularparallaxe von der galaktischen Breite bekannt sein. Daher wurde die Sonnenbewegung in jeder der fünf Breitenzonen bestimmt, wobei die Konstanten der galaktischen Rotation als bekannt vorausgesetzt wurden — X, Y und Z sind also die drei Unbekannten dieser Auflösung. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 zusammengestellt. Die Einteilung der Breitenzonen ist bereits S. 129 angegeben.

Die Zunahme der Säkularparallaxe mit galaktischer Breite ist bekannt und tabuliert[1]). Da ich jedoch die großen EB ausgeschlossen habe, ist der Effekt abgeschwächt und die Benutzung dieser Tafeln nicht mehr zulässig. In den EB<10″ und <20″ ist überhaupt keine Abhängigkeit der Säkularparallaxe mehr erkennbar; für EB<70″ bleibt sie bis $b = \pm 45°$ ebenfalls konstant, nimmt aber in den Zonen III ($b = \pm 45°$ bis $\pm 75°$) um 40 % zu. Die gleiche Erscheinung finden v. d. Kamp u. Vyssotsky[2]) für 18000 schwache Sterne in Breiten über 40°; doch ist ein Vergleich nicht zulässig, da in der betreffenden Arbeit die EB aller Größen berücksichtigt wurden, während die hier vorgenommene Beschränkung auf kleinere EB für die Abweichung von den Groningen-Tafeln verantwortlich scheint. — In der Lösung aus allen Zonen für EB<70″ wurden daher die Koeffizienten der Sonnenbewegung in den Zonen III mit dem Faktor 1.4 multipliziert.

In den Apexkoordinaten zeigt sich ein stetes Anwachsen der Länge in den Zonen IIn bis IIIs; der Grund scheint in dem Mischungsverhältnis der Spektralklassen zu liegen. Die K-Sterne, die eine große Apexlänge liefern, sind in IIIs besonders stark vertreten, in der Äquatorzone I aber nur von geringem Einfluß, während die A-Sterne (geringe Apexlänge!) in der Zone IIn ihr Maximum haben. Die starke Häufung der B-Sterne in der Äquatorzone ist für die niedrige Breite des Apex dieser Zone verantwortlich.

Tabelle 2
Abhängigkeit der Sonnenbewegung von der galaktischen Breite

Zone	$(\overline{h/r})$	l_a	b_a
	EB<70″		
I	5″.60±0″.39	20°.0± 4°.4	+19°.5± 3°.1
IIn	5.57±0.42	17.3± 5.4	+33.9± 4.1
IIs	6.04±0.42	24.9± 4.4	+20.9± 3.7
IIIn	8.54±0.68	22.7± 4.4	+30.2± 5.7
IIIs	7.58±0.68	33.6± 5.1	+38.5± 5.7
IIn+s	5.76±0.30	21.5± 3.4	+27.2± 2.8
IIIn+s	8.02±0.48	27.5± 3.3	+34.3± 4.1
	EB<20″		
I	3.78±0.25	20.6± 4.0	+18.4± 2.8
IIn	3.87±0.21	13.3± 3.7	+31.5± 2.9
IIs	4.27±0.21	25.9± 3.1	+22.2± 2.6
IIIn	3.73±0.49	16.7± 7.4	+19.1±11.1
IIIs	4.12±0.55	33.8± 7.7	+42.1± 8.0
IIn+s	4.04±0.15	20.2± 2.5	+26.8± 2.0
IIIn+s	3.81±0.37	24.6± 5.4	+31.5± 7.0
	EB<10″		
I	2.34±0.16	18.7± 4.3	+24.0± 3.0
IIn	2.62±0.10	7.0± 2.6	+30.1± 2.1
IIs	2.52±0.22	23.9± 5.8	+27.3± 4.7
IIIn	2.17±0.29	12.9± 7.3	+27.5±10.0
IIIs	2.16±0.38	31.5±10.7	+48.8± 9.4
IIn+s	2.55±0.12	15.3± 3.2	+29.0± 2.6
IIIn+s	2.12±0.23	20.8± 6.1	+38.3± 6.9

Tabelle 3
Frühere Apexbestimmungen

Quelle	Material	α_a	δ_a
Wilson, Astron. J. **36**.141 (1926)	2000–3000 Radialg. u. EB; PGC-Sterne	270°.8	+27°.1
Campbell, Publ. Lick Obs. **16**.XXXVII (1928)	2149 Radialgeschw., $]5^m.51$	270.6	+29.2
Edmondson, Astron. J. **41**.144 (1931)	3419 Radialgeschwindigkeiten	266.9	+30.4
Nordström, Medd. Lunds Astron. Obs. (II) Nr. 79, S. 91 (1936)	3238 »	272.3	+26.7
Smart und Green, Monthly Not. **96**.476 (1936)	3683 »	267.0	+32.0
Eichelberger, Astron. Papers of the Americ. Ephemeris, **10**, Teil I, 158 (1925)	1198 EB<20″; Äquin. 1925.0	265.2	+20.5
Kamp und Vyssotsky, Astron. J. **45**.169 (1936)	18000 EB, schwache Sterne, Boss-System	285	+36
Wilson und Raymond, Astron. J. **47**.58 (1938) verbessert nach E. Williams, Astron. J. **48**.86 (1939)	26978 EB<10″; GC-Sterne	271.6	+38.6
	30178 EB<20″; »	273.4	+38.5
	1918 EB 20″ bis 80″; GC-Sterne	281.6	+34.4

[1]) P. J. van Rhijn, B. J. Bok: The secular parallax of the stars of different apparent magnitude and galactic latitude. Publ. Kapteyn Astron. Labor. Groningen **45**.21 (1929).

[2]) loc. cit. S. 168, siehe Fußnote 2, S. 129.

wobei die mittlere Entfernung $\bar{r}$ in parsec das Mittel aus den reziproken Parallaxen $\frac{1}{\pi}$ ist. Oort weist darauf hin[1]), daß $\bar{r}$ keinesfalls gleich der reziproken mittleren Parallaxe $\frac{1}{\pi}$ gesetzt werden darf; vielmehr gilt die Beziehung $\bar{r}\,\bar{\pi} = e^{(0.461\,\epsilon)^2}$ unter der Voraussetzung, daß die absoluten Helligkeiten in der Sterngruppe nach einer Gauss-Verteilung streuen, deren mittlerer Fehler ϵ ist. Oort setzt z. B. für die B-Sterne $\epsilon = \pm 1^m.0$, was $\bar{r}\,\bar{\pi} = 1.24$ entspricht. Erst die Kenntnis von ϵ für eine Sterngruppe ermöglicht es, aus der mittleren Parallaxe die mittlere Entfernung zu berechnen. In dieser Arbeit wurden im Zusammenhang mit der Bestimmung der relativen linearen Sonnengeschwindigkeit aus den bekannten Parallaxen bzw. Entfernungen der einzelnen Sterne ϵ oder $\bar{r}\,\bar{\pi}$ für jede Gruppe berechnet, doch weise ich ausdrücklich darauf hin, daß die Werte auf einer recht geringen Zahl von Sternen beruhen.

Zeigt nun ein Vergleich der mit Hilfe von spektroskopischen Parallaxen gefundenen linearen Sonnengeschwindigkeit gegen die aus Radialgeschwindigkeiten hergeleiteten Werte Abweichungen, die das Fehlermaß übersteigen, so wird das den spektroskopischen Parallaxen zugrunde liegende System der absoluten Helligkeiten verbesserungsbedürftig sein. Diese Frage wird eingehend von H. Nordström[2]) untersucht.

Im Folgenden werden bei jeder Gruppe vergleichsweise Werte anderer Bestimmungen gegeben. In den Tabn. 5 und 7–9 sind die Quellen, denen diese Werte entnommen sind, zitiert. Hierbei beziehen sich die Ziffern 1–4 und die Abkürzung Gl auf folgende Arbeiten:

1 = H. Nordström: A study of stellar motions based on radial velocities. Medd. Lunds Astron. Obs. (II) Nr. 79, S. 90 und 118 (1936).
2 = W. Gyllenberg: Stellar velocity distribution. Medd. Lunds Astron. Obs. (II) Nr. 13, S. 20 und 59 (1915).
3 = G. Strömberg: The distribution of the velocities of stars of spectral types F to M. Astrophys. J. **56**.265 (1922).
4 = R. Wilson, H. Raymond: Solar motion, precessional corrections and galactic rotation. Astron. J. **47**.49 (1938); **48**.86 (1939).
Gl = W. Gliese: vorliegende Arbeit.

Sonnenbewegung relativ zu den B-Sternen

In Tab. 5 sind die wichtigsten Apexbestimmungen aus B-Sternen zusammengestellt und die Werte dieser Arbeit hinzugefügt.

Tabelle 5
Sonnenbewegung relativ zu B-Sternen

Material	Zahl	α_a	δ_a	V km/sec	$(\bar{h}/\bar{r})$	Q	Quelle
Radialgeschwind., ohne Stromsterne	353	277°6	+27°6	20.8	—	—	1; S. 90
» mit »	464	283.6	+27.4	20.3	—	—	1; S. 90
EB, $]6^m$, spektroskop. Parallaxen	378	275.5	+29.9	16.4	—	—	1; S. 118
Radialgeschwindigkeiten	284	286.2	+25.5	22.1	—	—	2; S. 20
Eigenbewegungen	197	272.3	+32.0	—	—	—	2; S. 59
EB < 20″, $]7^m$	1180	274.6	+31.7	—	—	—	4
1. ohne Stromsterne, Äquatorzone	59	282.9±4°2	+27.4±4°4	—	2″10±0″17	−0″75±0″16	Gl
2. » » , alle Areale	99	282.4±4.2	+25.9±4.1	—	1.98±0.15	−0.56±0.15	Gl
3. mit Stromsternen, alle Areale	159	277.7±3.0	+25.9±2.8	—	2.56±0.14	nicht bestimmt	Gl

Da sowohl der Orion-, der Perseus- sowie der besonders zahlreiche Scorpio-Centaurushaufen hauptsächlich aus B-Sternen bestehen, so ist der Anteil der Stromsterne unter ihnen besonders hoch, und ich sah mich gezwungen, sie in einer Sonderlösung auszuschließen. Drei Sterne wurden wegen zu großer EB (über 10″) weggelassen; es sind das die drei nächsten mit einer Parallaxe größer als 0″.025.

Die B-Sterne wurden in Gruppen zu 5 bis 7 Sternen zusammengefaßt; das liefert 9 Gruppen in der Äquatorzone (−20° bis +20°) und 17 am gesamten Himmel. Diese Lösungen wurden in äquatorialen Koordinaten angesetzt. Die Hinzunahme der Sterne höherer Breiten ändert das Ergebnis nicht. Die auffallend große AR des Apex (d. h. niedrige galaktische Breite von +10°) ist für B-Sterne charakteristisch; man findet sie auch bei schwachen Sternen, d. h. bei den durchschnittlich ferneren Sternen, zu denen die B-Gruppe ja auch gehört. Die Deklination ist normal.

Die Mitnahme der Stromsterne liefert 22 Gruppen zu 6 bis 8 Sternen mit einer durchschnittlich etwas größeren Säkularparallaxe. Der Apex ist in Dekl nicht verschoben, doch nähert sich die geringere

[1]) loc. cit. S. 81, siehe Fußnote 1, S. 131.
[2]) A study of stellar motions based on radial velocities. Medd. Lunds Astron. Obs. (II) Nr. 79, S. 118 (1936).

AR den Werten der allgemeinen Lösung. Wie weit dieser Effekt reell ist, muß dahingestellt bleiben, da Nordström — wie Tab. 5 zeigt — gerade das entgegengesetzte Ergebnis findet.

Im Äquatorgürtel sind die Parallaxen von 51 der 59 B-Sterne bekannt; am ganzen Himmel 86 von 99 bzw. 143 von 159 (das sind 90 %). Die 16 Sterne ohne bekannte Parallaxen werden zu den ferneren Sternen gehören. Um ihren Einfluß abzuschätzen, wird der Grenzfall betrachtet, daß ihre Parallaxen verschwindend klein sind.

Für die drei Gruppen der B-Sterne und den Grenzfall erhält man als mittl. Parallaxe, mittl. Entfernung, Streuung der absoluten Helligkeiten innerhalb der Gruppe und lineare Sonnengeschwindigkeit die Werte der Tab. 6.

Im »Grenzfall« wurde für $r\pi$ der Wert 1.23 eingesetzt und damit aus $\pi = 0''.008$ die hier ja unbekannte mittlere Entfernung zu 154 parsec berechnet. Die Werte für ϵ sind in guter Übereinstimmung mit dem von Oort [1]) für die B-Sterne eingesetzten Wert $1^M.00$.

Tabelle 6
Lineare Sonnengeschwindigkeit aus B-Sternen

Gruppe	$\bar{\pi}$	$\bar{r}$ ps	$\bar{r}\bar{\pi}$	ϵ	V km/sec
1. Tab. 5	0".0074	164	1.21	$0^M.95$	16.3
2. »	0.0076	159	1.20	0.93	15.0
3. »	0.0089	138	1.23	0.99	16.7
Grenzfall	0.0080	—	(1.23)	—	18.6

Der mittlere Fehler der Sonnengeschwindigkeit bleibt unter 2 km/sec. Die Werte der Sonnengeschwindigkeit sind über die Fehlergröße hinausgehend bedeutend geringer als die aus Radialgeschwindigkeiten hergeleiteten von etwa 21 km/sec. Nordström, der aus EB ebenfalls nur 16.4 km/sec findet [2]), leitet daraus Korrektionen an das den spektroskopischen Parallaxen zugrunde liegende System der absoluten Größen her. Das Anwachsen der Sonnengeschwindigkeit bei Mitberücksichtigung der Stromsterne von 15.0 km/sec auf 16.7 km/sec liegt an der Fehlergrenze, braucht also nicht reell zu sein. Doch weise ich auf die Bemerkungen von Plaskett und Pearce [3]) hin, die durch Ausschluß des Scorpio-Centaurus-Haufens die relative Sonnengeschwindigkeit um 3 km/sec auf den normalen Wert von 19 km/sec zurückführen.

Sonnenbewegung relativ zu den A-Sternen

Tab. 7 enthält die wichtigsten Apexbestimmungen aus A-Sternen zum Vergleich mit dem Wert dieser Arbeit.

Die A-Sterne mit einer EB über 20" oder einer Parallaxe größer als 0".050 wurden von dieser Betrachtung ausgeschlossen; es sind das Grenzen, die sich bei der Betrachtung des Materials von selbst ergeben, da die Sterne außerhalb dieser Grenzen nur vereinzelt auftreten.

Die Dekl des Apex ist normal, seine AR recht gering in Übereinstimmung mit den Werten der Tab. 7.

Tabelle 7
Sonnenbewegung relativ zu A-Sternen

Material	Zahl	α_a	δ_a	V km/sec	Quelle
EB, $]6^m$, spektr. Par.	484	262°.7	+23°.1	13.6	1
Radialgeschw.	484	264.6	+16.9	15.2	1
Radialgeschw.	291	261.5	+14.5	19.7	2
EB	192	267.9	+26.3	—	2
EB<20", $]7^m$	4457	270.2	+26.0	—	4
EB<20", π<0".050	356	263.4 $\pm$2.7	+26.9 $\pm$2.5	$(\bar{h}/r) =$ 4".09 $\pm$0.17	Gl

Von 356 Sternen sind nur bei 231 (d. h. 65 %) die Parallaxen bekannt. Sie liefern $\bar{\pi} = 0''.019$ d. h. $1/\bar{\pi} = 52.6$, aber $\bar{r} = 71$ parsec. Daraus folgt $\bar{r}\bar{\pi} = 1.35$, oder eine Streuung der absoluten Helligkeiten mit dem mittleren Fehler von $1^M.2$.

Der Wert der Sonnengeschwindigkeit $V = 13.8$ (± 1) km/sec paßt sich dem von Nordström in Tab. 7 zu 13.6 km/sec gegebenen Wert gut an, dürfte aber etwas zu gering sein, da die fehlenden 125 A-Sterne im Durchschnitt weiter als 71 parsec entfernt sein werden. Auf jeden Fall aber ist die Sonnengeschwindigkeit relativ zu den A-Sternen geringer als relativ zu anderen Spektralgruppen.

Sonnenbewegung relativ zu den F- und G-Sternen

Tab. 8 enthält zum Vergleich die Werte älterer Apexbestimmungen aus F- und G-Sternen; beide Klassen sind getrennt behandelt und oft ist noch ein Unterschied zwischen Riesen und Zwergen

[1]) loc. cit. S. 81, siehe Fußnote 1, S. 131.
[2]) loc. cit. Fußnote 2, S. 136.
[3]) loc. cit. S. 275, Tab. 10; siehe Fußnote 2, S. 132.

gemacht worden. Der zum Schluß angefügte Wert dieser Arbeit ist jedoch durch Zusammenfassung beider Spektralgruppen gewonnen.

Tabelle 8
Sonnenbewegung relativ zu F- und G-Sternen

Material	Zahl	α_a	δ_a	V km/sec	Quelle
F-Sterne					
Radialg.,]6^m,Zwerge	270	267°.9	+18°.1	15.7	1
EB,]6^m »	270	264.7	+29.0	18.3	1
Radialgeschw.	237	262.5	+17.3	19.5	2
EB	128	262.5	+32.8	—	2
Radialg.,]3^M	153	269	+27	21.2	3
» [3^M	133	274	+35	23.4	3
EB<20″,]7^m	2152	268.5	+26.5	—	4
G-Sterne					
Radialg.,]6^m,Riesen	190	278.5	+32.0	13.5	1
»]6^m,Zwerge	83	280.9	+32.8	27.6	1
EB,]6^m, Riesen	190	257.3	+38.3	13.9	1
EB,]6^m, Zwerge	83	264.5	+34.9	28.6	1
Radialgeschw	208	279.5	+23.8	18.8	2
EB	107	261.9	+46.3	—	2
Radialg.,]3^M	224	266	+32	19.9	3
» [3^M	154	279	+23	40.2	3
EB<20″,]7^m	1679	269.8	+44.4	—	4
F+G-Sterne					
EB<70″, μ>0″.100	290	263.1 ±3.8	+26.0 ±3.5	$(\bar{h}/\bar{r})$= 10″.25 ±0.60	Gl

In dieser Gruppe wurden alle EB über 70″ und alle Parallaxen über 0″.100 ausgeschlossen, ebenso die Veränderlichen ζ Geminorum, δ Cephei und η Aquilae sowie die Doppelsternkomponente α^1 Librae, die ja eine Sonderstellung einnehmen. Bei den F-Sternen treten nur Parallaxen größer als 0″.011 auf. Doch schon bei den F8-Sternen des FK3 findet man Mitglieder des Riesenastes. Eine Unterteilung in Riesen und Zwerge konnte jedoch bei der geringen Sternzahl nicht vorgenommen werden.

Die Apexlage ist dieselbe wie bei den A-Sternen. Diese Gruppen sind also für die geringe AR in der Gesamtlösung verantwortlich. Tab. 8 zeigt, daß dieser Wert für die F-Sterne charakteristisch ist; er fügt sich auch den aus EB hergeleiteten Ergebnissen für G-Sterne ein, während die Radialgeschwindigkeiten unerklärlicherweise eine um 15° bis 20° größere AR liefern.

Von 290 Sternen sind für 221 (fast 80 %) die Parallaxen bekannt: $\bar{\pi}$=0″.035, $1/\bar{\pi}$=28.3, $\bar{r}$=47.4 parsec, folglich $\bar{r}\bar{\pi}$=1.67, was einer starken Streuung der absoluten Helligkeit mit $\epsilon=\pm 1^M.54$ entspricht.

Ferner ist V=23.0 km/sec ± 2 km/sec ein Wert, der durch die Annahme, daß die 69 Sterne mit unbekannter Parallaxe im Durchschnitt weiter entfernt sind, nur noch erhöht wird. Ein Vergleich mit den aus Radialgeschwindigkeiten abgeleiteten Werten zeigt, daß nur eine erhebliche Beimischung von Zwergen (G-Zwergen) solche große Sonnengeschwindigkeit hervorgerufen haben kann.

Die verschiedenartigen Ergebnisse innerhalb der F- und G-Gruppe berechtigen nicht zu einer Zusammenfassung beider Klassen. Vielmehr wird man bemüht sein müssen, das Material auch noch in Riesen- und Zwergsterne zu unterteilen.

Sonnenbewegung relativ zu den K-Sternen

Tab. 9 enthält die Zusammenstellung älterer Apexwerte aus K-Sternen sowie den Wert dieser Arbeit.

Tabelle 9
Sonnenbewegung relativ zu K-Sternen

Material	Zahl	α_a	δ_a	V km/sec	Quelle
Radialg.,]6^m, Riesen	728	269°.8	+28°.4	19.7	1
EB,]6^m, Riesen	728	273.3	+36.9	19.8	1
Radialgeschw.	486	272.3	+31.1	19.5	2
EB	338	279.7	+46.3	—	2
Radialg.,]4^M	325	282	+43	18.3	3
» [4^M	112	286	+31	33.1	3
EB<20″,]7^m	3781	276.4	+39.1	—	4
EB<30″, π<0″.050	412	270.2 ±5.3	+36.9 ±4.1	$(\bar{h}/\bar{r})$= 3″.98 ±0.28	Gl

Diese hier am zahlreichsten vertretene Spektralgruppe enthält in der Beschränkung auf EB <30″ und Parallaxen <0″.050 wohl nur noch Riesensterne. Trotz der großen Zahl von 412 Sternen ist der Fehler beträchtlich und deutet auf eine innere Inhomogenität dieser Gruppe hin. Die AR des Apex ist in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen größer als bei den Sternen der Spektralklasse A, F und G; auffallender noch ist die hohe Deklination, die man aber auch in Tab. 9 bestätigt findet.

Von den 412 Sternen haben 84 %, nämlich 346 Sterne bekannte Parallaxen: $\bar{\pi}$=0″.016; $1/\bar{\pi}$=63.7 und $\bar{r}$=83.2 parsec. Damit wird $\bar{r}\bar{\pi}$=1.30, d. h. die absoluten Helligkeiten der Gruppe streuen mäßig.

Auffallend ist der geringe Betrag der Sonnengeschwindigkeit V=15.8 km/sec ± 1.5 km/sec, der unter der Annahme, daß die 66 unbekannten Parallaxen praktisch null sind (Grenzfall!), sich nur auf 18.8 km/sec erhöhen würde. Die 412 Sterne scheinen also tatsächlich nur K-Riesen mit geringerer Geschwindigkeit zu sein.

10. Galaktische Rotation

Da sich die Oortsche Konstante A und das Zentrum der galaktischen Rotation aus Radialgeschwindigkeiten ungleich genauer als aus EB ergeben, wurden in den meisten Lösungen für C und S die Werte von Radialgeschwindigkeiten übernommen (S. 132). Die Konstante B kann nur aus den EB in Länge entnommen werden und geht als $Q = B/4.74$ in die Gleichungen für $\mu_l \cos b$ (S. 129) ein. Wie aus den vorhergehenden Abschnitten ersichtlich ist, wurde Q hier zugleich mit der Sonnenbewegung bestimmt. Die älteren und die eigenen Werte Q sind in Tab. 10 u. 11 zusammengestellt.

Tabelle 10

Ältere Werte von $Q = \frac{B}{4.74}$

Quelle	Sternzahl	Q
Charlier, Medd. Lunds Astron. Obs. (II) Nr. 9, S. 105 (1913)	4182	$-0''.35 \pm 0''.10$
Fotheringham, Monthly Not. **86**.418 (1926)	5413	-0.17 ± 0.06
Oort, Bull, Astron. Inst. Netherlands **4**.86 (1927). Ferne Sterne	771	-0.50 ± 0.07
Boss-Sterne	5413	-0.23 ± 0.05
Dyson, Monthly Not. **90**.239 (1929). Bo bis Ao-Sterne	1281	-0.46
Lindblad, Monthly Not. **90**.512 (1930). F bis K-Sterne	—	-0.57
Plaskett und Pearce, Monthly Not. **94**.707 (1934). B-Sterne	849	-0.25 ± 0.06
v. d. Kamp und Vyssotsky, Atsron. J. **45**.169 (1936). Schwache Sterne	18000	-0.30 ± 0.06
Oort, Bull. Astron. Inst. Netherlands **8**.154 (1937). Schwache Sterne	18000	-0.31 ± 0.05
Wilson und Raymond, Astron. J. **47**.56 (1938)	33000	-0.25 ± 0.03

Die neu bestimmten Werte fallen alle in das Bereich der Tab. 10, doch zeigt sich Q sehr empfindlich gegen verschiedene Auswahlprinzipien. Eine systematische Abhängigkeit von der Größe der Eigenbewegungen ist nicht zu erkennen. Dagegen ruft der Ausschluß der Stromsterne eine systematische Verminderung von Q hervor, die im Falle der kleinen EB$<10''$ einen viel zu geringen Wert liefert. Ihr Weglassen ist also unberechtigt.

Tabelle 11

Eigene Werte von $Q = \frac{B}{4.74}$

Material	Sternzahl	Q
EB$<70''$, mit Stromsternen	1446	$-0''.30 \pm 0''.19$
ohne »	1390	-0.23 ± 0.20
EB$<20''$, mit »	1283	-0.37 ± 0.12
ohne »	—	-0.35
EB$<10''$, mit »	1032	-0.19 ± 0.08
ohne »	—	-0.13
Parallaxe $<0''.040$	1248	-0.44 ± 0.16
» $<0''.020$	887	-0.33 ± 0.13
B-Sterne, ohne Stromsterne	99	-0.56 ± 0.15
nur Äquatorzone	59	-0.75 ± 0.16

Den größeren Werten der »Parallaxenlösungen« ist nicht allzu viel Bedeutung zuzumessen, da es sich hier weitgehend um die gleichen Sterne wie in der Lösung EB$<20''$ handelt. Die Differenz zwischen dem Q-Wert beider Entfernungsgruppen hält sich innerhalb der Fehlergrenzen. — Die außergewöhnlich hohen Werte für B-Sterne basieren auf einer zu geringen Sternzahl, als daß man ihnen besondere Bedeutung zumessen könnte, wenn auch Oort[1]) aus 105 Bo bis B2-Sternen ein gleiches Ergebnis herleitete.

Vergleicht man die drei Hauptlösungen — nach Größe der EB — untereinander, so kann man nicht ohne weiteres die dort gefundenen Q-Werte mitteln, da ja stets die Gruppe größerer EB alle Sterne der vorhergehenden Gruppe mitumfaßt, man also letztere mehrfach zählen würde. Doch zeigt der Vergleich unter Berücksichtigung der Fehlerbereiche, daß der wahrscheinlichste Wert liegen wird bei

$$Q = -0''.26$$

in guter Übereinstimmung mit den Werten der jüngsten Bestimmungen in Tab. 10.

Die Konstanten C und S der »Doppelwelle« in den Eigenbewegungen gehen nur mit kleinem Faktor in die Normalgleichungen ein, ergeben sich also mit beträchtlichem Fehler. Daher wurde ihre Bestimmung nur in den Fällen geringerer EB in Verbindung mit der Sonnenbewegung versucht mit dem Ergebnis (vgl. Tab. 4, S. 134):

EB$<20''$	$C = -0''.08$	$S = -0''.11$	$P = +0''.13 \pm 0''.17$	$l_0 = 297° \pm 38°$
<10	$+0.02$	-0.27	$+0.27 \pm 0.12$	316.6 ± 12
$\pi < 0''.04$	-0.17	$+0.03$	$+0.18 \pm 0.22$	266 ± 37
<0.02	-0.04	-0.44	$+0.44 \pm 0.18$	312.6 ± 12

In allen anderen Fällen wurden für C und S die Werte von S. 132 eingesetzt.

[1]) loc. cit. S. 86, siehe Fußnote 1, S. 131.

Bei den näheren Sternen ($\pi < 0''.04$) und den größeren EB (EB $< 20''$) ist die gesamte Doppelwelle von der Streuung der Pekuliarbewegungen überdeckt — der Fehler ist größer als die Amplitude P der Welle, damit sind alle weiteren Betrachtungen über die geringe Länge des »Rotationszentrums« l_0 hinfällig. Erst bei den Sternen ferner als 50 parsec tritt die galaktische »Doppelwelle« in Erscheinung; ihre etwas große Amplitude ist in Anbetracht des beträchtlichen Fehlers nicht außergewöhnlich; das Entsprechende ist über die geringe Länge l_0 zu sagen.

Wesentlich größere innere Genauigkeit ist der Lösung EB $< 10''$ zuzusprechen. Man kann wohl diese Werte als die genauesten, die sich aus dem FK3 herleiten lassen, angeben: $l_0 = 317° \pm 12°$ weicht nur um 8° vom Shapleyschen Zentrum der Kugelhaufen ab, liegt ihm also näher als der von Plaskett und Pearce aus den EB von 717 B-Sternen gefundene Wert[1]) $l_0 = 311°.5 \pm 9°$ und stimmt überein mit $l_0 = 321° \pm 6°$ der Lösung von van de Kamp und Vyssotsky[2]). Desgleichen fügt sich der Wert $P = +0''.27$ ausgezeichnet denen der jüngsten Bestimmungen ein:

Plaskett u. Pearce, Monthly Not. **94**.679 (1934)	$P = +0''.33 \pm 0''.02$
v. d. Kamp u. Vyssotsky, Astron. J. **45**.161 (1936)	$+0.30 \pm 0.06$
Wilson u. Raymond, Astron. J. **47**.49 (1938)	$+0.25$

Eine Abweichung von l_0 nach Werten über 325°, die als Zeichen einer zumindest örtlichen Expansion der betrachteten Sterngruppe gedeutet werden könnte, und die sich in einigen anderen Untersuchungen gezeigt hat, tritt hier also nicht in Erscheinung.

11. Dilatation

Wenn eine Dilatation der untersuchten Sterngruppe auftritt — wie sie durch einen konstanten positiven K-Effekt $K > 0$ als Expansion sich zu zeigen scheint — so muß sie nach den Gleichungen des allgemeinen Geschwindigkeitsfeldes auch in den Breitenkomponenten μ_b der Eigenbewegung auftreten[3]). Folgt man der Darstellung der Milneschen Ausführungen in der von Smart gegebenen Betrachtung[4]), so erhält man für die EB in Breite im allgemeinsten Fall folgende Gleichung.

In einem allgemeinen Geschwindigkeitsfeld seien X, Y, Z die drei rechtwinkligen Ortskoordinaten und U, V, W die entsprechenden Geschwindigkeitskomponenten eines Sternes. $\bar{U}$, $\bar{V}$, $\bar{W}$ sind die mittleren Geschwindigkeiten einer Sterngruppe, die also von der Pekuliarbewegung der einzelnen Sterne befreit angenommen werden können. Untersucht man die Änderungen des Geschwindigkeitsfeldes in der durch den Index null gekennzeichneten Sonnenumgebung, und setzt man mit Smart[5]) zur Abkürzung:

$$a' = \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial X}\right)_0 \qquad b' = \left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial Y}\right)_0 \qquad c' = \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial Z}\right)_0$$

$$2f' = \left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial Z}\right)_0 + \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial Y}\right)_0 \qquad 2g' = \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial X}\right)_0 + \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}\right)_0 \qquad 2h' = \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Y}\right)_0 + \left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial X}\right)_0$$

so nimmt die Gleichung für die mittlere Breitenkomponente $\bar{v}_b$ der linearen Geschwindigkeit die Form an[6]):

$$\begin{aligned}\bar{v}_b = 4.74\,\bar{r}\,\bar{\mu}_b = &-\tfrac{1}{4}\bar{r}(a'-b')\cos 2l \sin 2b - \tfrac{1}{2}\bar{r}\,h' \sin 2l \sin 2b + \\ &-\tfrac{1}{4}\bar{r}(a'+b'-2c')\sin 2b + \bar{r}g' \cos l \cos 2b + \bar{r}f' \sin l \cos 2b + \\ &-\tfrac{1}{2}\bar{r}\left[\left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}\right)_0 - \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial X}\right)_0\right]\cos l - \tfrac{1}{2}\bar{r}\left[\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial Z}\right)_0 - \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial Y}\right)_0\right]\sin l .\end{aligned}$$

Im galaktischen System ist die Äquatorebene eine Symmetrieebene; X, Y werden in diese gelegt, Z wird senkrecht dazu gerechnet.

Sind f', g' und die beiden letzten Summanden in $\bar{v}_b$ von null verschieden, so muß sich in den Breitenkomponenten der EB eine in l periodische Welle zeigen; in einer Zone konstanter Breite wird bei gleichmäßiger Sternverteilung ihr Gesamteffekt also null. Sie drücken demnach keine Dilatation

[1]) loc. cit. Fußnote 2, S. 132.
[2]) loc. cit. S. 169, siehe Fußnote 2, S. 129.
[3]) E. A. Milne: Stellar kinematics and K-effect. Monthly Not. **95**.560 (1935).
[4]) W. M. Smart: Stellar Dynamics, S. 405. Cambridge 1938.
[5]) loc. cit. S. 407, Gleichung (5) und (6); siehe Fußnote 4, dieser S.
[6]) loc. cit. S. 410, Gleichung (8); siehe Fußnote 4, dieser S.

aus, fallen also nicht in den Rahmen dieser Betrachtungen und bleiben hier weg. — Die Summe $\frac{1}{4}(a'-b')\cos 2l+\frac{1}{2}h'\sin 2l=\frac{1}{2}A\sin 2(l-l_0)$ ist die bekannte Doppelwelle der differentiellen Rotation.

Die reine Dilatation beschränkt sich also auf das Glied $-\frac{1}{4}r(a'+b'-2c')\sin 2b$, das in zwei Teile aufgespalten werden kann:

a) Dilatation parallel zur galaktischen Ebene:

In diesem Falle ist die Änderung des Geschwindigkeitsfeldes senkrecht zur galaktischen Ebene gleich null: $c'=0$, also

$$\bar{v}_{b\,(\mathrm{dil})} = -\tfrac{1}{4}r(a'+b')\sin 2b\,.$$

Da die Sonnenbewegung — abgesehen von ihren in l periodischen Gliedern X und Y — als $-Z\cos b$ in die Gleichungen der Breitenkomponente $\bar{\mu}_b$ der EB eingeht (siehe S. 129), so läßt sich die Dilatation bei gleichbleibender Breite b nicht von der Sonnenbewegung trennen. Eine Expansion (a', $b'>0$) verursacht im Norden eine scheinbare Vergrößerung von Z und damit natürlich auch der Apexbreite b_{an}, während im Süden Z und damit b_{as} verringert erscheinen. Der Effekt kann also erkannt werden, wenn man die aus Nord- und Südbreitenzonen erhaltenen Apexbreiten vergleicht. Es muß eintreten bei Expansion $b_{an}>b_{as}$ und bei Kontraktion $b_{an}<b_{as}$.

b) Dilatation senkrecht zur galaktischen Ebene:

In diesem Falle ist in dem Dilatationsglied $a'+b'=0$ und es bleibt:

$$\bar{v}_{b\,(\mathrm{dil})} = +\tfrac{1}{2}r\,c'\sin 2b\,.$$

Bei Expansion ist $c'>0$, bei Kontraktion $c'<0$; also verursacht Expansion eine Verminderung der relativen Sonnengeschwindigkeit in nördlichen Breiten, eine Vergrößerung in den südlichen Breiten. Die Wirkung ist also für Expansion: $b_{an}<b_{as}$ und für Kontraktion: $b_{an}>b_{as}$.

Eine Dilatation senkrecht zur galaktischen Ebene wirkt sich also in der Breitenkomponente der Eigenbewegung gerade umgekehrt aus wie eine solche parallel zu dieser. Da sich demnach beide Wirkungen weitgehend aufheben können, so ist das Nichtvorhandensein eines solchen Effektes noch kein Beweis für das Nichtauftreten einer Dilatation.

Setzt man

$$\frac{a'+b'-2c'}{4\cdot 4.74}=D,$$

so wird das Dilatationsglied in μ_b unter Berücksichtigung der »Arealkorrektionen« (siehe S. 130) gleich:

$$-D[\sin 2b(1-\tfrac{4}{3}\Theta^2+\tfrac{4}{9}\Theta^4)+\operatorname{tg}b(\tfrac{1}{3}\Theta^2-\tfrac{1}{9}\Theta^4)]\,.$$

In den Gesamtlösungen läßt dieses Glied alle Unbekannten unverändert, da seine gemischten Produktsummen in den Normalgleichungen alle null werden. Da der Koeffizient von D sehr gering ist, so läßt sich diese Größe nur sehr unsicher bestimmen. Es ergab sich in den drei Fällen:

EB$<10''$	$D=-0''.05\pm 0''.20$
$\pi<0''.04$	$D=-0.12\pm 0.37$
$\pi<0.02$	$D=+0.85\pm 0.30$

Da nach dem vorhergesagten eine solche Dilatation sich auch in einer Verschiebung der Apexbreite äußern muß, sobald man die Lösungen in galaktischen Breitenzonen ansetzt und die Ergebnisse aus nördlichen und südlichen Zonen vergleicht, so sind in Tab. 12 solche Ergebnisse aus den Untersuchungen von Kamp und Vyssotsky[1]) sowie von Wilson und Raymond[2]) angeführt (da an letztere Werte nicht die Korrektionen aus Astron. J. **48**.86 angebracht sind, so kann man sie nur untereinander vergleichen).

Tabelle 12

Apexbreite aus Nord- und Südzonen galaktischer Breite

Material	Zone	b_{an}	b_{as}
v. d. Kamp und Vyssotsky aus insgesamt 18000 EB	$b=0°$ bis $\pm 20°$	$+10°.2$	$+14°.5$
	± 21 bis ± 40	$+16.2$	$+14.1$
	$+41$ bis ± 90	$+20.7$	$+6.3$
Wilson und Raymond aus 32000 EB$<20''$	± 10 bis ± 90	$+24.5$	$+23.2$
» » » aus 14000 bis 15000 EB, $]7^m.05$	± 10 bis ± 90	$+24.8$	$+21.7$

Werte dieser Arbeit: Tab. 2, S. 133.

[1]) loc. cit. S. 168, siehe Fußnote 2, S. 129.

[2]) loc. cit. S. 61, siehe Fußnote 2, S. 134. Diese Werte wurden mit Hilfe der Ohlsonschen Tafeln in galaktische Koordinaten umgewandelt.

Aus den EB ergibt sich also im allgemeinen $b_{an} > b_{as}$ — die Zonen III (45° bis 75°) bilden beim FK3 eine Ausnahme, die den sonst zu erwartenden positiven Wert von D wieder auf null reduziert (außer bei den Sternen ferner als 50 parsec). Dieses Ergebnis: $b_{an} > b_{as}$ könnte also sowohl als eine Kontraktion senkrecht zur galaktischen Ebene als auch als eine Expansion parallel zu ihr gedeutet werden.

Zieht man bei der Diskussion dieser Frage auch die Ergebnisse aus Radialgeschwindigkeiten heran, so zeigt sich in deren Gleichung der von der galaktischen Länge unabhängige Teil, der die Dilatation darstellt, als [1])

$$\bar{v}_{r(\mathrm{dil})} = \tfrac{1}{4} r \left[(a' + b' + 2c') + (a' + b' - 2c') \cos 2b \right] .$$

Denn die mit l bzw. $2l$ periodischen Teile geben keine Dilatation, sondern eine Welle bzw. Doppelwelle. Sowohl eine Expansion parallel zur galaktischen Ebene ($a' + b' > 0$) als auch eine solche senkrecht zu ihr ($c' > 0$) vergrößert also die Radialgeschwindigkeit. In einer Zone konstanter Breite überlagert sich diese Vergrößerung dem Glied $-Z \sin b$ der Sonnenbewegung und verringert damit Z im Norden und vergrößert es im Süden. Also müssen bei jeder beliebig gerichteten Expansion die aus Radialgeschwindigkeiten nördlicher Sterne gefundenen Apexbreiten b_{an} geringer sein als die aus Südsternen erhaltenen Werte b_{as}. (Expansion: $b_{an} < b_{as}$, dagegen bei Kontraktion: $b_{an} > b_{as}$). Nordström [2]) erhält aus Radialgeschwindigkeiten von 1546 Nordsternen und 1692 Südsternen $b_{an} = +13{}^{\circ}4 \pm 2{}^{\circ}4$ und $b_{as} = +24{}^{\circ}8 \pm 2{}^{\circ}2$.

Findet man also aus EB $b_{an} > b_{as}$ und aus Radialgeschwindigkeiten $b_{an} < b_{as}$, so kann das als Expansion parallel zur galaktischen Ebene gedeutet werden. Eine über den gesamten Himmel sich erstreckende Lösung muß dann in den Radialgeschwindigkeiten einen positiven K-Effekt ergeben.

Zur Untersuchung dieser Frage ist jedoch dieses Material relativ sehr naher Sterne wenig geeignet. Ferner muß man genügend Sterne haben, um ein völliges Ausschalten der Pekuliarbewegungen voraussetzen zu können. Sollte es tatsächlich gelingen, die Größe solcher Effekte in Radialgeschwindigkeiten und Eigenbewegungen miteinander zu vergleichen, so ließen sich daraus sehr viel weitergehende Schlüsse auf systematische Änderungen des Geschwindigkeitsfeldes in der Sonnenumgebung ziehen. Mit dem zur Zeit vorhandenen Beobachtungsmaterial wird man jedoch nicht daran gehen können, die einzelnen Differentialquotienten dieses Feldes zahlenmäßig festzulegen.

12. Zusammenfassung der Ergebnisse

Infolge der geringen Sternzahl gleichen sich die Pekuliarbewegungen in den Arealen nicht völlig aus — ihr Einfluß auf die auftretenden mittleren Fehler ist teilweise noch beträchtlich.

Präzessionskorrektionen: Auch die Eigenbewegungen des FK3 zeigen, daß an die Newcombschen Präzessionskonstanten bestimmte Korrektionen anzubringen sind. Sie ergaben sich aus 402 Breitenkomponenten der EB aus der Äquatorzone von der gleichen Größe wie bei früheren Untersuchungen anderen Materials, jedoch erheblich unsicherer, weshalb die älteren Werte zur genauen Festlegung herangezogen wurden.

Sonnenbewegung: Aus den allgemeinen Lösungen ergibt sich der Apex für die EB $< 20''$ zu $\alpha_a = 266{}^{\circ}5 \pm 2{}^{\circ}2$; $\delta_a = +29{}^{\circ}4 \pm 1{}^{\circ}9$ und für die EB $< 10''$ zu $\alpha_a = 260{}^{\circ}0 \pm 2{}^{\circ}4$; $\delta_a = +27{}^{\circ}5 \pm 2{}^{\circ}2$. Der Apex zeigt also eine geringe AR, unter 270°, die sich zu einem kleinen Teil aus systematischen Katalogunterschieden, zum größeren Teil aber daraus erklärt, daß hier die scheinbar hellsten und nächsten Sterne betrachtet werden. Die Deklination zeigt eine erfreuliche Übereinstimmung mit den aus Radialgeschwindigkeiten hergeleiteten Werten, worin sich die große Genauigkeit des FK3 zeigt. Geben doch sowohl PGC wie GC wesentlich höhere Deklinationen des Apex, die nicht mit den aus Radialgeschwindigkeiten hergeleiteten Ergebnissen in Übereinstimmung gebracht werden können. Diese Deklinationsabweichungen erklären sich aus systematischen Differenzen zwischen PGC, GC und FK3.

Der Ausschluß der nächsten Sterne bewirkt bereits eine Verschiebung des Apex nach höherer Rektaszension. Die Ergebnisse für die einzelnen Spektralgruppen sind in Übereinstimmung mit älteren Untersuchungen:

B-Sterne	$\alpha_a = 283°$	$\delta_a = +27°$
A-Sterne	263	+27
F- u. G-Sterne	263	+26
K-Sterne	270	+37

[1]) loc. cit. S. 407, Gleichung (9); siehe Fußnote 4, S. 140.
[2]) loc. cit. S. 107, Tab. 22; siehe Fußnote 2, S. 136.

Untersuchungen über die lineare Sonnengeschwindigkeit bestätigen das Ergebnis von Nordström[1]), das wenigstens bei den B-Sternen eine systematische Korrektion der absoluten Größen fordert, die den spektroskopischen Parallaxen zugrunde gelegt sind.

Galaktische Rotation: Neben der Sonnenbewegung wurden die drei Konstanten Q, C und S der galaktischen Rotation nur in den Lösungen für EB$<20''$ und EB$<10''$, sowie für Parallaxen $\pi<0''.04$ und $\pi<0''.02$ bestimmt. In allen anderen Fällen wurden für C und S die Werte übernommen, die Plaskett und Pearce[2]) aus Radialgeschwindigkeiten von O- und B-Sternen fanden. Q hingegen wurde auch noch aus den EB$<70''$ und aus den EB der B-Sterne hergeleitet; für die Lösung der Auwerssterne und die Spektralgruppen A, F+G und K sowie die Lösungen in galaktischen Breitenzonen wurde auch für Q ein bekannter Wert eingesetzt, also nur die Sonnenbewegung berechnet.

Aus den eben genannten Bestimmungen ergeben sich als die sichersten Werte:
$Q=-0''.26$ $P=+0''.27\pm0''.12$ $l_0=317^\circ\pm12^\circ$, ein nur innerhalb der Fehlergrenze vom Shapleyschen Zentrum abweichender Wert.

Dilatation: Systematische Unterschiede der Apexbreite in Zonen nördlicher und südlicher Breite könnten als Dilatation der betrachteten Sterngruppe gedeutet werden. Wenn auch im Vergleich mit anderen Ergebnissen eine Expansion parallel zur galaktischen Ebene aufzutreten scheint, so kann doch mit diesem Material die Frage nicht befriedigend diskutiert werden.

Wenn trotz der Streuung infolge der Pekuliarbewegungen die geringe Sternzahl des FK3 die Rotationskonstanten so befriedigend ergibt, so mag das einerseits in einer Befreiung des Katalogs von systematischen Fehlern liegen, zum anderen aber auch in der nahezu völlig gleichförmigen Sternverteilung über den ganzen Himmel, die jede einseitige Bevorzugung einer bestimmten Region ausschließt.

Nachtrag

In der vorangehenden Arbeit wird auf S. 128 erwähnt, daß die EB am Südhimmel im Durchschnitt unsicherer bestimmt sind als die der Nordsterne, daß diese größere Unsicherheit aber durch die Streuung der Pekuliarbewegungen überdeckt wird. Um diese Annahme nachträglich zu begründen, wurde die Sonnenbewegung aus den EB der Sterne nördlich und südlich des Äquators bestimmt, und es wurden die in beiden Fällen auftretenden wahrscheinlichen Fehler verglichen. Zeigen sich ferner dabei über das Fehlermaß hinausgehende Differenzen in der Apexlage, so könnten systematische Abweichungen innerhalb des FK3 beim Übergang von einer zur anderen Himmelshälfte die Ursache sein. Das System des Kataloges wäre dann nicht einheitlich.

Die Untersuchung beschränkt sich auf die Herleitung der Sonnenbewegung aus den EB$<70''$, EB$<20''$ und EB$<10''$. Für die Präzessionskorrektionen und die galaktischen Rotationskonstanten werden die auf S. 132 gegebenen Werte eingesetzt. Die nach galaktischen Koordinaten angesetzte Arealeinteilung ist beibehalten. Von den 44 Arealen werden 6 ausgeschlossen, weil der Himmelsäquator mitten durch sie hindurchgeht. Je 10 Areale sind in je einer Zone zusammengefaßt, die sich etwa von 0° bis $\pm35^\circ$ Deklination erstreckt, je 9 Areale bilden eine Zone höherer Deklination. Also hat man zwei Nord- und zwei Südzonen, doch beschränkt sich die Tab. 13 auf die Wiedergabe der Ergebnisse des gesamten Nord- und Südhimmels. Die angegebenen Fehler sind wahrscheinliche Fehler.

Tabelle 13

Sonnenbewegung aus Nord- und Südsternen

Material	Himmelshälfte	α_a	δ_a	wahrsch. Fehler einer Gleichung
EB$<70''$	Nord	$263^\circ.7\pm2^\circ.4$	$+28^\circ.2\pm2^\circ.8$	$\pm0''.86$
	Süd	268.7 ± 3.2	$+32.7\pm3.7$	±1.03
EB$<20''$	Nord	267.6 ± 2.6	$+24.3\pm2.8$	±0.63
	Süd	265.6 ± 2.8	$+30.6\pm3.2$	±0.65
EB$<10''$	Nord	260.5 ± 2.6	$+24.8\pm3.0$	±0.42
	Süd	262.1 ± 3.5	$+29.4\pm4.0$	±0.47

Die AR des Apex zeigt keine Differenz, dagegen ist die aus Südsternen gewonnene Deklination etwa 5° nördlicher als das Ergebnis des Nordhimmels — im Gegensatz zu den aus dem GC hergeleiteten

[1]) loc. cit. Fußnote 2, S. 136.
[2]) loc. cit. Fußnote 2. S. 132.

Werten[1]). Doch liegt auch die Deklinationsdifferenz noch an der Fehlergrenze. Sie dürfte weitgehend durch den stärkeren Prozentsatz der Spektralgruppen A, F+G unter den Sternen des Nordhimmels hervorgerufen sein, da diese Gruppen ja eine geringe Apexdeklination liefern. Denn auch die (hier nicht angegebenen) Werte der vier Deklinationszonen zeigen wohl eine Abhängigkeit von der prozentualen Beimischung der einzelnen Spektralgruppen, zeigen aber keinen systematischen Gang der Apexlage mit der Deklination der Sterne. Also ist es durchaus berechtigt, das EB-System des FK3 als innerlich einheitlich anzusehen.

Die Beobachtungsgleichungen des Südhimmels sind tatsächlich mit etwas größerem Fehler behaftet. Wollte man aber den reziproken Fehlerquadraten proportionale Gewichte erteilen, so verhalten sich die Gewichte der Nordareale zu denen der Südareale wie 1.41 : 1.00 (EB$<$70″) bzw. 1.06 : 1.00 (EB$<$20″) bzw. 1.30 : 1.00 (EB$<$10″). Die Differenz ist also tatsächlich so gering, daß die große Arbeitsersparnis durchaus die Zuteilung gleicher Gewichte für alle Areale rechtfertigt, da insbesondere hierdurch jede Bevorzugung einer bestimmten Himmelsgegend vermieden wird.

[1]) loc. cit. S. 63, siehe Fußnote 2, S. 134.

Lebenslauf

Ich, Wilhelm Gliese, wurde am 21. Juni 1915 als Sohn des Amtsgerichtsrats Wilhelm Gliese und seiner Ehefrau Emilie geb. Pfarrius in Goldberg/Schlesien geboren. Ich besuchte drei Jahre die dortige Volksschule und anschließend 9 Jahre das Goldberger Reformrealgymnasium (»Schwabe-Priesemuth-Stiftung«), das ich Ostern 1933 nach bestandener Reifeprüfung verließ.

Im Sommersemester 1933 und Wintersemester 1933/34 studierte ich an der Universität Breslau Astronomie, Mathematik und Physik, wo ich die Vorlesungen der Herren Hoheisel, Rademacher, Schaefer und Schoenberg besuchte. Nach halbjähriger Dienstzeit im freiwilligen Arbeitsdienst in Liebau/Riesengebirge setzte ich im Winter 1934/35 mein Studium an der Berliner Universität fort. Im Herbst 1936 unterbrach ich erneut das Studium, um bei der 1./B 18 meiner Wehrdienstpflicht zu genügen. Nachdem ich im Oktober 1938 als Wachtmeister d. R. entlassen war, kehrte ich an die Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin zurück. Meine Ausbildung dort verdanke ich den Herren Bieberbach, ten Bruggencate, Grotrian, Guthnick, Henning, Klose, Kohler, Kopff, Neiß, Orthmann, Rinow, E. Schmidt, Schüler, Wehnelt und Freiherr von Weizsäcker.

Zu besonderem Dank fühle ich mich Herrn Prof. Dr. Kopff gegenüber verpflichtet für die Anregungen und sein stetes Interesse an der vorliegenden Arbeit, die ich an dem von ihm geleiteten Coppernicus-Institut im März 1939 begonnen habe.

Druck von C. Schaidt, Inhaber Georg Oheim, Kiel